

# 江西信丰森林健康示范区主要林分类型土壤水源涵养功能

余定坤<sup>1</sup>, 胡绍平<sup>2</sup>, 杨清培<sup>1</sup>, 曾明洪<sup>2</sup>, 陈建明<sup>2</sup>, 欧阳勋志<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学 省竹子种质资源与利用重点实验室, 南昌 330045; 2. 信丰县林业局, 江西 信丰 341600)

**摘要:**为了研究江西信丰森林健康示范区林下土壤的水源涵养功能, 本文主要采用环刀法, 比较分析了 6 种主要林分土壤孔隙度、持水量、渗透性等水文指标。结果表明: 6 种林分土壤最大持水量为 880.88~1 007.36 t/hm<sup>2</sup>, 其大小顺序为: 毛竹林>杉木林>常绿阔叶林>火炬松林>湿地松林>马尾松林; 各林分土壤的入渗过程均可用 Horton 入渗模型进行较好拟合, 各层土壤初渗和稳渗速率分别变动于 0.163~4.433 mm/min 和 0.112~1.788 mm/min, 毛竹林土壤渗透性较好, 火炬松较差。6 种主要林分土壤水源功能的大小顺序为: 毛竹林>杉木林>湿地松林>常绿阔叶林>马尾松林>火炬松林。

**关键词:**水源涵养; 森林土壤; 森林健康项目; 江西信丰

中图分类号: S714.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)03-0098-04

## Water Conservation of Soils in Main Forest Types at the Demonstration Area of Forest Health Management Project in Xinfeng, Jiangxi Province

YU Ding-kun<sup>1</sup>, HU Shao-ping<sup>2</sup>, YANG Qing-pei<sup>1</sup>, ZENG Ming-hong<sup>2</sup>, CHEN Jian-ming<sup>2</sup>, OUYANG Xun-zhi<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Provincial Key Laboratory for Bamboo Germplasm Resources and Utilization, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Xinfeng Forestry Bureau, Xinfeng, Jiangxi 341600, China)

**Abstract:** Based on core cutter method, an investigation on the porosity, water-holding capacity, infiltration rate of soils (0—60 cm) in 6 forest types was conducted at the Demonstration Area of Forest Health Management Project in Xinfeng County of Jiangxi Province in order to analyze their soils water conservation function and to evaluate forest health. The results indicated that the maximum of soils in 6 forest types ranged from 880.88 t/hm<sup>2</sup> to 1 007.36 t/hm<sup>2</sup>, sequence of water-holding capacity was *Phyllostachys pubescens* forest>*Cunninghamia lanceolata* plantation>evergreen broad-leaved forest>*Pinus taeda* plantation>*Pinus elliotii* plantation>*Pinus massoniana* plantation; The infiltration processes of all soils could be fitted properly by using Horton model, the primary permeability rate and stable permeability rate of all soils varied from 0.163 mm/min to 4.433 mm/min and from 0.112 mm/min to 1.788 mm/min, respectively. The soil permeability of *Ph. pubescens* forests was the highest, and *P. taeda* plantation was the relatively lowest. All these findings suggested the order of water conservation function of soil for 6 forests was: *Ph. pubescens* forest>*C. lanceolata* plantation>*P. elliotii* plantation>evergreen broad-leaved forest>*P. massoniana* plantation>*P. taeda* plantation.

**Key words:** water conservation; forest soil; Forest Health Management Project; Xinfeng County of Jiangxi Province

森林健康是指森林不仅能保持自身良性存在和更新, 而且能充分发挥其野生动物保护、木材利用、休闲游憩和水源涵养等多种功能和效益<sup>[1-3]</sup>。自 2002 年 6 月起, 中美森林健康合作项目正式启动, 先后在江西省信丰县、云南省丽江县、贵州省麻江县、陕西省

佛坪县、北京市八达岭林场启动了 5 个试验区和山东泰山等 4 个实验点。至此, 森林健康被正式引入到中国并进行较大范围的试验<sup>[4]</sup>。

土壤涵养水源功能主要表现在静态持水能力与动态渗透能力两方面, 它对降水分配过程、水分循环

收稿日期: 2011-09-02

修回日期: 2011-11-22

资助项目: 国家自然科学基金项目(30860229); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ08192); 生物措施治理水土流失(森林健康)项目

作者简介: 余定坤(1990—), 男, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。E-mail: Yudingkun1989@163.com

通信作者: 杨清培(1970—), 男, 博士, 副教授, 主要从事森林生态学教学与竹林生态学科学研究。E-mail: qingpeiyang@126.com

和土壤流失等过程作用明显<sup>[5]</sup>,且与森林的树种组成、林分结构和经营方式密切相关,故不同森林水源涵养存在一定的差异<sup>[6-9]</sup>。江西省信丰县森林健康项目示范区主要有常绿阔叶林、马尾松(*Pinus massoniana*)林、毛竹(*Phyllostachys pubescens*)林、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)林、湿地松(*Pinus elliottii*)林和火炬松(*Pinus taeda*)林 6 种主要林分类型。本文对这 6 种林分类型土壤水源涵养功能进行比较研究,为探索我国南方红壤区森林生态功能和健康状况评价提供理论依据。

1 研究区概况

江西信丰森林健康项目示范区,设在大桥镇(25°21'12.8"N,115°8'38.82"E)、万隆乡(25°13'22.01"N,114°47'34.79")两个乡镇,属低效林改造及经济林建设

森林健康类型区项目,重点以解决低效针叶纯林改造为主要目标。示范区内地貌以低山丘陵为主,土壤为黄红壤,气候温暖湿润,雨量充沛,年平均气温 17℃,年平均降水量 1 430 mm,年平均无霜期 263 d,地带性植被为常绿阔叶林,但多被采伐利用。现主要森林类型有:经封山育林形成次生常绿阔叶林,逆行演替形成马尾松林和毛竹林,以及杉木、湿地松、火炬松等人工林<sup>[10]</sup>。

2 研究方法

2.1 样地的设置与调查

根据示范区森林资源状况,并综合考虑各林分类型特点、培育现状、立地条件、林龄、经营措施、受干扰程度等多个方面因素,选择具有代表性林分进行样地调查<sup>[10]</sup>,样地大小 20 m×30 m,每种林型设 2 个重复(表 1)。

表 1 江西信丰森林健康项目示范区 6 种林分概况

林分类型	林龄/ a	林分密度/ (株·hm <sup>-2</sup> )	平均胸径/ cm	平均树高/ m	凋落物厚度/ cm	主林层 郁闭度	经营措施
常绿阔叶林(EBF)	25~40	1394	15.85	17.11	4~10	0.85	封山育林
马尾松林(PMF)	20	1228	8.98	7.69	3~10	0.60	偶有拾柴
毛竹林(PPF)	—	2267	6.97	8.94	3~8	0.70	劈山砍杂
杉木林(CLP)	15	1511	9.97	6.86	5~14	0.70	前期抚育
火炬松林(PTP)	17	1794	9.32	7.36	6~15	0.72	前期抚育
湿地松林(PEP)	17	1289	8.37	6.66	3~12	0.75	前期抚育

2.2 土壤物理水文指标测定

2010 年 10 月,在多样地内随机挖土壤剖面 3 个,用 100 cm<sup>3</sup> 环刀分 0—20 cm(上层)、20—40 cm(中层)、40—60 cm(下层)取原状土,带回室内测定土壤容重、土壤毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、持水能力等物理—水文指标;按“环刀法”测定土壤渗透性<sup>[11]</sup>。为了便于比较,将全部渗透系数按  $K_{10} = K_t / (0.07 + 0.3t)$  转换成 10℃ 时的渗透系数<sup>[12]</sup>。

3 结果与分析

3.1 土壤容重和孔隙度特征

土壤容重与孔隙度是反映土壤物理性质的重要参数,都直接影响着土壤持水能力、通气性能和渗透

性能<sup>[13]</sup>。项目示范区 6 种主要林分各层土壤容重与孔隙度特征见图 1。

由图 1 可知,6 种林分土壤都是上层容重最小,其值在 0.75~1.07 g/cm<sup>3</sup> 之间,且常绿阔叶林、马尾松林、毛竹林、杉木林土壤容重随土壤深度的增加而增大,各林分下层土壤密度为 1.09~1.38 g/cm<sup>3</sup>。全层(0—60 cm)土壤平均容重变动于 0.99~1.28 g/cm<sup>3</sup>,大小顺序为:毛竹林<杉木林<湿地松林<马尾松林<常绿阔叶林<火炬松林。

就总孔隙度而言,除马尾松林外,其他类型都是表层土壤最大,均超过了 45.0%。全层土壤总孔隙均值为 44.04%~50.37%,大小顺序为:毛竹林>杉木林>常绿阔叶林>火炬松林>湿地松林>马尾松林。

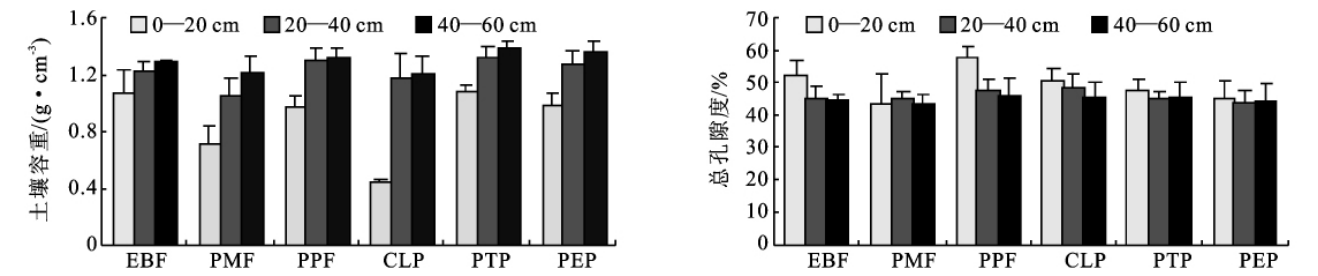


图 1 6 种主要林分各层土壤容重与孔隙度特征

土壤容重和孔隙度受枯落物特性、根系分布及人类活动等因素影响<sup>[14]</sup>。毛竹林因具有庞大地下鞭根系统和人类的垦复或挖笋,其各层土壤的容重最小、孔隙度最高;而马尾松林、火炬松林、湿地松林受割草拾柴或早年炼山等人为因素的影响,土壤孔隙度较低。

### 3.2 土壤持水能力

土壤持水能力可分为非毛管持水能力、毛管持水能力、最大持水能力。它们都是评价土壤涵养水源及调节水分循环的一个重要指标<sup>[15-18]</sup>。江西信丰森林健康示范区 6 种主要林分土壤持水能力详见表 2。

表 2 6 种主要林分类型土壤持水能力比较

类型	土层深度/ cm	非毛管持水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	毛管持水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	最大持水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )
常绿阔 叶林 (EBF)	0—20	303.07±56.62	744.33±28.40	1,047.40±84.05
	20—40	122.93±37.47	783.60±42.28	906.53±66.43
	40—60	101.13±48.86	796.33±79.57	897.47±33.83
	0—60	527.13±142.95	2,324.27±150.25	2,851.40±184.31
马尾松林 (PMF)	0—20	213.20±96.19	657.37±96.82	870.57±183.90
	20—40	154.90±58.67	751.03±65.22	905.93±36.15
	40—60	120.30±47.56	745.83±40.79	866.13±60.72
	0—60	488.40±202.42	2,154.23±202.83	2,642.63±280.77
毛竹林 (PPF)	0—20	455.53±124.77	693.87±79.78	1,149.40±71.16
	20—40	280.40±70.22	669.76±75.18	950.16±68.48
	40—60	219.60±55.94	702.91±81.38	922.51±104.80
	0—60	955.53±250.93	2,066.53±236.34	3,022.07±244.44
杉木林 (CLP)	0—20	279.50±77.68	728.73±83.27	1,008.23±78.36
	20—40	208.80±68.29	757.50±58.68	966.30±86.72
	40—60	214.97±67.80	698.20±62.74	913.17±85.01
	0—60	703.27±213.77	2,184.43±204.69	2,887.70±250.08
火炬松林 (PTP)	0—20	156.53±33.74	791.00±41.94	947.53±75.49
	20—40	78.40±22.52	825.73±18.76	904.13±36.86
	40—60	64.87±3.52	851.33±81.95	916.20±81.41
	0—60	299.80±59.79	2,468.07±142.65	2,767.87±193.76
湿地松林 (PEP)	0—20	247.33±70.02	655.03±71.14	902.37±105.90
	20—40	160.10±61.21	720.30±38.67	880.40±68.84
	40—60	190.47±102.18	692.73±70.69	883.20±112.94
	0—60	597.90±233.41	2,068.07±180.49	2,665.97±287.68

由表 2 可以看出,6 种林分土壤平均非毛管持水能力为:毛竹林>杉木林>湿地松林>常绿阔叶林>马尾松林>火炬松林。毛竹林土壤(尤其是表层)颗粒排列疏松、非毛管孔隙度大,故其非毛管持水力最大。

毛管持水能力大小为:火炬松林>常绿阔叶林>杉木林>马尾松林>湿地松林>毛竹林。常绿阔叶林毛管持水能力较强,是因为其凋落物易于分解,土壤生物活动强度大,有利于改良土壤性质<sup>[19]</sup>。

6 种森林土壤最大持水能力依次为:毛竹林>杉木林>常绿阔叶林>火炬松林>湿地松林>马尾松林。毛竹林因土壤疏松、孔隙度大,其潜在持水能力最强,而马尾松林因土壤紧实,孔隙度小的因而最弱。

### 3.3 土壤渗透特征

土壤渗透性也是森林水源涵养功能的另一个重要指标,表现了土壤的动态水文特性。6 种林分各层土壤的渗透速率变化趋势一致,即初期渗透速率较

高,随着时间的推移而逐渐下降,最后达到稳渗状态。整个入渗过程可用 Horton 土壤入渗模型来模拟。

$$i = i_c + (i_0 - i_c)e^{-kt}$$

式中: $i$ —— $t$  时刻的土壤入渗率; $i_c$ ——土壤达到饱和状态后的稳定入渗率; $i_0$ —— $t=0$  时刻的初始入渗率; $k$ ——与土壤性质有关的常数。且模拟效果较好( $R^2 \geq 0.650$ ),结果详见表 3。

从不同林分看,毛竹林土壤各层渗透速率都较大,其上、中、下层初渗速率分别为 3.773, 2.927, 4.008 mm/min, 稳渗速率分别也为 1.525, 1.157, 1.709 mm/min;火炬松相对较小,其初渗速率依次为 0.163, 0.390 和 1.637 mm/min, 稳渗速率只有 0.112, 0.206, 0.930 mm/min。各林分土壤渗透性好坏依次为:毛竹林>杉木林>湿地松林>马尾松林>阔叶林>火炬松林。

从不同层次看,除常绿阔叶林外,其他林分都是

下层土壤的初渗速率和稳渗速率最大,中层或上层较小,说明人畜踩踏会增加紧实度,减少渗透率,但中下层土壤石砾增加会增加土壤渗透率。

表 3 6 种林分土壤水分入渗过程拟合参数及效果

林型	层次/cm	$i_0$	$i_c$	$k$	$R^2$
常绿	0—20	2.037	1.254	0.066	0.993
阔叶林	20—40	0.673	0.346	0.055	0.878
(EBF)	40—60	0.775	0.240	0.119	0.988
	0—20	2.041	0.957	0.067	0.967
马尾松林	20—40	1.773	0.531	0.068	0.992
(PMF)	40—60	2.794	0.889	0.070	0.979
毛竹林	0—20	3.773	1.525	0.042	0.984
(PPF)	20—40	2.927	1.157	0.052	0.980
	40—60	4.008	1.709	0.048	0.992
	0—20	2.570	0.765	0.039	0.978
杉木林	20—40	1.805	0.984	0.029	0.942
(CLP)	40—60	4.433	1.788	0.057	0.985
火炬松林	0—20	0.163	0.112	0.081	0.650
(PTP)	20—40	0.390	0.206	0.084	0.892
	40—60	1.637	0.930	0.047	0.987
湿地松林	0—20	1.799	0.613	0.058	0.991
(PEP)	20—40	3.043	1.046	0.055	0.985
	40—60	3.397	1.556	0.053	0.974

3.4 不同森林土壤水源涵养功能综合评价

选取初渗系数( $X_1$ )、稳渗系数( $X_2$ )、非毛管持水量( $X_3$ )、总持水量( $X_4$ )为评价指标,对 6 种林分土壤水源涵养功能进行主成分分析(表 4)。由表 4 可知,第一主成分  $F_1$  的方差累积贡献率高达 89.3%,且特征值 3.57(>1),信息损失量很少,用主成分  $F_1$  来表征 4 个评价指标是合理的。第一主成分  $F_1=0.925X_1+0.979X_2+0.991X_3+0.688X_4$ ,在所有变量上的正载荷大致相等, $F_1$  可以解释为对土壤综合水源涵养功能的量度(即水源涵养功能综合值)。依据主成分  $F_1$  得分大小,各林分土壤综合水源涵养功能强弱依次为:毛竹林>杉木林>湿地松林>常绿阔叶林>马尾松林>火炬松林。

表 4 6 种林分森林土壤水源涵养功能主成分分析

评价指标	主成分			
	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$
$X_1$	0.925	-0.380	0.024	0.024
$X_2$	0.979	-0.190	0.077	-0.022
$X_3$	0.991	0.038	-0.127	-0.006
$X_4$	0.688	0.725	0.040	0.007
特征值	3.268	0.707	0.024	0.001
贡献率%	81.696	17.671	0.604	0.029
累计贡献率%	81.696	99.367	99.971	100.000

4 结论与讨论

森林土壤对水分的调节能力主要表现在静态持水能力与动态渗透能力两方面,它们都与土壤孔隙度高低、孔隙大小及分布情况有关。一般而言,土壤容重越小,孔隙度愈高,其持水能力、透水性愈强<sup>[11]</sup>。

江西信丰森林健康示范区 6 种林分表层土壤容重为 0.75~1.07 g/cm<sup>3</sup>,下层为 1.19~1.38 g/cm<sup>3</sup>,随深度增加而增大的趋势,全层平均容重为 0.99~1.28 g/cm<sup>3</sup>,且毛竹林<杉木林<湿地松林<马尾松林<常绿阔叶林<火炬松林。6 种林分土壤非毛管孔隙平均为 5.00%~15.93%,毛管孔隙为 34.44%~41.13%,总孔隙度平均为 44.04%~0.37%,依次为:毛竹林>杉木林>常绿阔叶林>火炬松林>湿地松林>马尾松林。最大持水能力平均为 2 642.63~3 022.07 t/hm<sup>2</sup>,顺序为:毛竹林>杉木林>常绿阔叶林>火炬松林>湿地松林>马尾松林。

6 种林分各层土壤渗透速率的变化趋势一致,在初期渗透速率较高,随着时间的推移而下降,最后达到稳渗状态,而且整个入渗过程用 Horton 土壤入渗模型模拟效果较好。毛竹林土壤初渗速率分别为 3.773,2.927,4.008 mm/min,稳渗速率分别为 1.525,1.157,1.709 mm/min;火炬松相对较小,其初渗速率依次为 0.163,0.390,1.637 mm/min,稳渗速率只有 0.112,0.206,0.950 mm/min。各林分土壤渗透性好坏依次为:毛竹林>杉木林>湿地松林>马尾松林>常绿阔叶林>火炬松林。

最后,通过主成分分析法综合评价,毛竹林水源涵养功能最强,马尾松林最弱。可见,毛竹林因庞大的地下鞭根系统<sup>[20]</sup>和人类经常性垦复或挖笋,有利于土壤结构、增加孔隙度和渗透性,从而增强其水源涵养功能。另外,应该减少人畜对火炬松林、马尾松林等林地的踩踏,以保持其土壤水源涵养功能。

参考文献:

[1] 王彦辉,肖文发,张星耀.森林健康监测与评价的国内外现状和发展趋势[J].林业科学,2007,43(17):78-85.  
[2] 赵良平.森林生态系统健康理论的形成与实践[J].南京林业大学学报:自然科学版,2007,31(3):1-7.  
[3] 姬文元,邢韶华,郭宁,等.森林生态系统健康研究进展[J].生态学杂志,2009,28(10):2012-2016.  
[4] 杨清培,杨光耀,李鉴平,等.森林健康项目信丰示范区主要森林群落生物多样性研究[J].江西林业科技,2009(4):1-4,12.  
[5] 许景伟,李传荣,夏江宝.黄河三角洲不同林分类型的土壤水文特性[J].水土保持学报,2009,23(1):173-176.

(下转第 107 页)

大小顺序为小水勤灌>滴灌>农民习惯,其中小水勤浇能够显著增加  $\text{NO}_3^-$ -N 在土壤剖面的积累,将更多的硝态氮保留在作物所能够再利用的中上土层中,减少了硝态氮向深层土壤的淋失。而农民习惯中大量的  $\text{NO}_3^-$ -N 已经淋失出 90 cm 土壤剖面而进入更深土层,具有污染地下水的潜在风险。

#### 参考文献:

- [1] 李廷轩,周健民,段增强,等. 中国设施栽培系统中的养分管理[J]. 水土保持学报,2005,19(4):70-75.
  - [2] 刘兆辉,江丽华,张文君,等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报,2008,45(2):296-303.
  - [3] 周建斌,陈竹君,李生秀. Fertigation—水肥调控的有效措施[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(4):16-21.
  - [4] 张建君,李久生,任理. 滴灌施肥灌溉条件下土壤水氮运移的研究进展[J]. 灌溉排水,2002,21(2):75-78.
  - [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
  - [6] 马腾飞,危常州,王娟,等. 不同灌溉方式下土壤中氮素分布和对棉花氮素吸收的影响[J]. 新疆农业科学,2010,47(5):859-864.
  - [7] 郭大应,熊清瑞,谢成春,等. 灌溉土壤硝态氮运移与土壤湿度的关系[J]. 灌溉排水,2001,20(2):66-68,72.
  - [8] 杜春先,聂俊华,王祥峰. 室内模拟有机肥中  $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{NO}_2^-$  的淋失规律及其对土壤环境的影响[J]. 山东农业科学,2004(6):48-50.
  - [9] 高兵,任涛,李俊良,等. 灌溉策略及氮肥施用对设施番茄产量及氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(6):1104-1109.
  - [10] 吴燕,梁银丽,朱娟娟,等. 灌溉方式对樱桃番茄产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(8):177-181.
  - [11] 徐淑贞,张双宝,鲁俊奇,等. 日光温室滴灌番茄需水规律及水分生产函数的研究及应用[J]. 节水灌溉,2001(4):26-28.
  - [12] 李俊良,朱建华,张晓晟,等. 保护地番茄养分利用及土壤氮素淋失[J]. 应用与环境生物学报,2001,7(2):126-129.
  - [13] 朱建华. 蔬菜保护地氮素去向及其利用研究[D]. 北京:中国农业大学,2002.
  - [14] 韦彦,孙丽萍,王树忠,等. 灌溉方式对温室黄瓜灌溉水分配及硝态氮运移的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(8):67-72.
  - [15] 付时丰,李中,杨丽娟,等. 保护地栽培条件下灌水方法对土壤温度的影响[J]. 灌溉排水学报,2006,25(1):67-70.
- .....
- (上接第 101 页)
- [6] 姜志林. 森林生态系统蓄水保土的功能[J]. 生态学杂志,1984(6):58-63.
  - [7] 张宗应,王勤,徐小牛. 安徽大别山区不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2003,17(3):59-62.
  - [8] 张秋良,魏强,代海燕,等. 大青山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2008,22(2):111-115.
  - [9] 郎南军,彭明俊,温绍龙,等. 金沙江流域不同林分类型的土壤特性及其水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6):106-109.
  - [10] 杨清培,陈旭梅,李鉴平,等. 信丰森林健康示范区主要森林枯落物持水与蒸发特征研究[J]. 江西农业大学学报,2009,31(5):867-873.
  - [11] 国家林业局. 森林土壤分析方法[M]. 北京:中国标准出版社,1999:14-33.
  - [12] 李志飞,赵雨森,辛颖,等. 阿什河上游 3 种人工林土壤贮水量与入渗特征[J]. 中国水土保持科学,2010,8(1):77-80.
  - [13] 孙艳红,张洪江,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2):106-109.
  - [14] 邓鉴锋. 西樵山森林改造对林地土壤理化性质的影响[J]. 广东林业科技,2005,21(2):14-18.
  - [15] 张雷燕,刘常富,王彦辉. 宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较[J]. 水土保持学报,2007,21(1):95-98.
  - [16] 吕皎,王棣. 油松混交林的水土保持及水源涵养功能研究[J]. 水土保持学报,2001,15(4):44-46.
  - [17] 张洪江,孙艳红,程金花,等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2006,20(2):106-109.
  - [18] 丁访军,王兵,钟洪明,等. 赤水河下游不同林地类型土壤物理特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报,2009,23(3):179-183,231.
  - [19] 肖洋,满秀玲,范金凤. 公别拉河流域主要森林类型的土壤肥力与涵养水源功能[J]. 北京林业大学学报,2006,34(1):28-34.
  - [20] 周本智,傅懋毅. 庙山坞自然保护区毛竹林细根生产和周转研究[J]. 江西农业大学学报,2008,30(2):239-245.